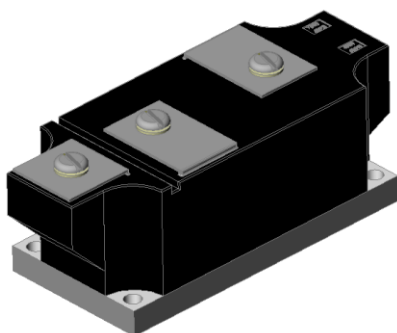


5. Колбин Т.С. Терентьев Д.И., Барбин Н.М., Алексеев С.Г. Техносферная безопасность, 1, 30 2013.
6. Колбин Т.С. Терентьев Д.И., Барбин Н.М., Алексеев С.Г. Техносферная безопасность, 1, 40 2014.
7. Yang H. – С., Eun H. – С., Lee D. – G. J. of nuclear science and technology, 10, 869, 2005.
8. Барбин Н.М., Терентьев Д.И., Алексеев С.Г. Химическая и радиационная физика: Сборник / Под ред. И.Г. Ассовского, А.А. Берлина, Г.Б. Манелиса. (Торус Пресс, 2011).
9. Барбин Н.М., Терентьев Д.И., Алексеев С.Г. Современная наука: Сборник научных статей, 2, 134, 2012.
10. Ватолин Н.А., Моисеев Г.К., Трусов Б.Г. Термодинамическое моделирование в высокотемпературных системах. (Металлургия, 1994).
11. Моисеев Г.К., Вяткин Г.П., Барбин Н.М. Применение термодинамического моделирования для изучения взаимодействия с участием ионных расплавов. (Из-во ЮУрГУ, 2002).
12. Гуревич Л.В., Вейц И.В., Медведев В.А. Термодинамические свойства индивидуальных веществ: Справ. изд-е в 4-х томах. (Наука, 1982).
13. Алемасов В.Е., Дергалин А.Ф., Тишин А.П. Термодинамические и теплофизические свойства продуктов сгорания: Справочник в 5 томах. (ВНИИТИ, 1971)

УДК 521.382

## **АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ДВУХПОЗИЦИОННОГО ДИОДНОГО МОДУЛЯ МДХ-660-18-A2**

Колесов И.В., Кравченко Е.В., к.т.н.  
Томский политехнический университет, г. Томск  
E-mail: [vik.wow@yandex.ru](mailto:vik.wow@yandex.ru)



*Рис.1 Двухпозиционный диодный  
Модуль МДх-660-18-A2.*

стандартам электробезопасности Российской Федерации.

Среди сфер применения для новых модулей можно отметить:

Современные полупроводниковые выпрямительные модули выдерживают средний переменный ток до 807А при температуре +85°С (частота 50Гц, в течение полупериода), напряжение до 2600В и имеют изолированный корпус с напряжением изоляции 3000В АС в течение 1 мин, соответствующий промышленным требованиям и

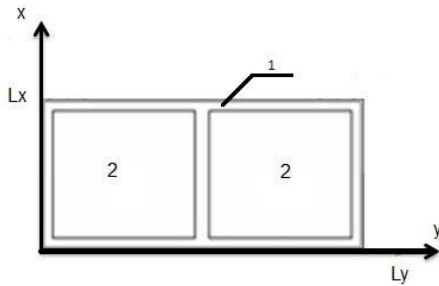


Рис. 2. Геометрия области решения (1,2 – области с различными теплофизическими характеристиками).

- устройства плавного пуска электродвигателей и другого оборудования с высокими пусковыми токами;

- промышленные электроприводы, преобразователи напряжения для ветрогенераторов;

- источники питания и сварочные аппараты.

Модель двухпозиционного диодного модуля МДх-660-18-А2 представлена на рис.1.

Области применения данного устройства: Регуляторы переменного тока (например, для контроля температуры, регулирования скорости вращения двигателя постоянного тока).

**Цель настоящей работы** – анализ интенсивностей отказов силового полупроводникового прибора (СПП) на основе численного моделирования нестационарных неоднородных полей температур при наличии нескольких локально расположенных источников тепловыделения в условиях естественной конвекции при рабочих температурах окружающей среды.

Анализ теплового режима работы проводился в двумерной постановке на основе типичного для силовой электротехники Двухпозиционного диодного модуля (рис.1) с температурой перехода  $T_{пер}=125^{\circ}\text{C}$ . (рис.2).

Математическая постановка задачи будет иметь вид:

$$\rho_1 c_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \left( \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial y^2} \right), \text{ для}$$

$$0 < x < l_1, 0 < y < H;$$

$$l_1 \leq l_1 + l_2, 0 < y < h_1 + h_2 + h_3, h_1 + h_2 + h_3 + h_4 < y < H;$$

$$l_1 + l_2 < x < l_1 + l_2 + l_3, 0 < H;$$

$$l_1 + l_2 + l_3 \leq x \leq l_1 + l_2 + l_3 + l_4, 0 < y < h_1, h_1 + h_2 < y < H;$$

$$l_1 + l_2 + l_3 + l_4 < x < L, 0 < y < H;$$

$$\rho_2 c_2 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \left( \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial y^2} \right), \text{ для}$$

$$l_1 < x < l_1 + l_2, h_1 + h_2 + h_3 < y < h_1 + h_2 + h_3 + h_4;$$

$$\rho_3 c_3 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \left( \frac{\partial^2 T_3}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_3}{\partial y^2} \right), \text{ для} \quad (1)$$

$$l_1 + l_2 + l_3 < x < l_1 + l_2 + l_3 + l_4, h_1 < y < h_1 + h_2$$

Начальные и граничные условия запишутся следующим образом:

$$\begin{aligned} t = 0 : T &= T_0, 0 \leq x \leq L, 0 \leq y \leq H; \\ x = 0 : T &= T_h, t > 0; \\ x = L : T &= T_c, t > 0; \\ y = 0 : \frac{\partial T}{\partial y} &= T_h, t > 0; \\ y = H : \frac{\partial T}{\partial y} &= T_c, t > 0; \end{aligned} \quad (2)$$

Проведено численное моделирование температурного поля в неоднородной пластине с размерами по осям  $x$  и  $y$  равными  $L_x$  и  $L_y$ .  $x \in [0; L_x]$ ,  $y \in [0; L_y]$ , где  $x, y$  – координаты.

Предполагалось, что модель (пластина) включает области с отличающимися теплофизическими характеристиками (табл.1). На краях пластины заданы граничные условия 3 рода[1].

Таблица 1.-Теплофизические свойства материалов (пластины)

Материал	$\lambda$ , Вт/м*К	$C$ , кДж/кг*К	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
Полистирол	0.17	1110	1060
Кремний	149	800	2330

Основные допущения, используемые при постановке задачи:

1. теплофизические характеристики материалов не зависят от температуры;
2. тепловой контакт на границах между областями (1,2) считается идеальным.

Характерный вид температурного поля моделируемого объекта (диодного модуля) при температуре окружающей среды  $T=25^{\circ}\text{C}$  в момент времени  $t=600\text{ с}$  показан на рис.3.[2]

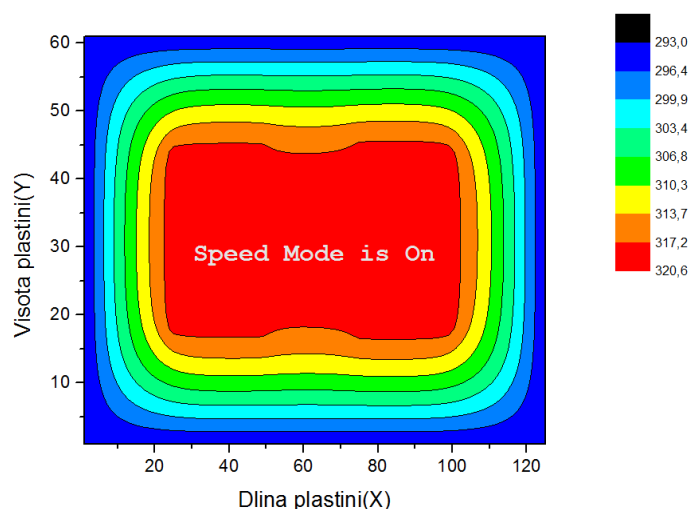


Рис.3. Температурное поле моделируемого объекта.

Для анализа показателей надежности диодного модуля выбраны математические модели Аррениуса и мультипликативная модель[3].

Мультипликативная математическая модель оценки надежности диодного модуля :

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_6 \cdot K_p \cdot K_{\phi} \cdot K_K \cdot K_{\Sigma}, \quad (3)$$

где  $\lambda_6$ —базовая интенсивность отказов силового прибора;  $K_p$ —коэффициент режима, зависящий от

электрической нагрузки и температуры;  $K_{\phi}$ —коэффициент функциональной специфики режима работы прибора;  $K_K$ —коэффициент уровня качества прибора;  $K_{\Sigma}$ —коэффициент жесткости условий эксплуатации.

Модель Аррениуса для оценки надежности диодного модуля:

$$\lambda_A(T) = C \cdot \exp\left(\frac{-E}{kT}\right), \quad (4)$$

где  $C$ —константа,  $E$  —энергия активации,  $k$ —постоянная Больцмана.

Результаты численного моделирования показателей надежности (интенсивности отказов) СПП приведены на рис. 5. Поведение функции интенсивности отказов  $\lambda(t)$  свидетельствует не только о значительных различиях в оценках надежности по моделям (3) и (4), но и о высокой степени зависимости прогностической модели Аррениуса (кривые  $\lambda(T_{\max})$  и  $\lambda(T_{\text{ср}})$  (рис.4) от расчетной (принимаемой) температуры.

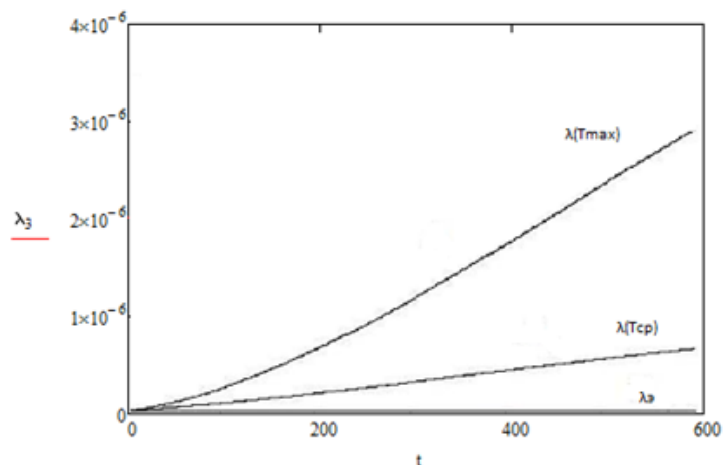


Рис. 4. Интенсивность отказов СПП при температуре окружающей среды  $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t=600\text{ с}$ . ( $\lambda_z$  – мультипликативная модель (3);  $\lambda(T_{ср})$  – модель Аррениуса (при  $T_{ср}$ );  $\lambda(T_{max})$  – модель Аррениуса (при  $T_{max}$ )).

**Закключение.** Использование мультипликативной модели (3) в оценках интенсивности отказов СПП приводит к значительному завышению эксплуатационного ресурса приборов ( $\lambda_z = 1.601 \cdot 10^{-7}$ , 1/ч)[4].

Прогнозирование показателей надежности СПП необходимо проводить на основании анализа реального нестационарного неоднородного теплового режима прибора.

#### Список литературы:

1. Кузнецов Г.В., Шерemet М.А. Разностные методы решения задач теплопроводности: учебное пособие. / Г.В. Кузнецов, М.А. Шерemet. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 172 с.
2. Кузнецов Г.В., Кравченко Е.В. Анализ деструкции полимерного материала изделий электронной техники в условиях пространственной неоднородности температурных полей // Электромагнитные волны и электронные системы. 2014. №3. С. 4-12
3. Справочник «Надежность электрорадиоизделий» / Под.ред. Прытков С.Ф., Горбачев В.М.
4. ГОСТ 27.301-95 Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения.